

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**



*Una Institución Adventista*

**Comparación del rendimiento del coagulante basado en soja  
deslipidificada y cladodio de tuna (*opuntia ficus indica*) para  
remoción de turbidez**

Por:

Nelson Rony Tito Tenorio

Miriam Carlos Lopinta

Asesor:

Ing. Orlando Alan Poma Porras

**Lima, Julio de 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACION

Ing. *Orlando Alan Poma Porras*, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: ***“Comparación del rendimiento del coagulante basado en soja deslipidificada y cladodio de tuna (opuntia ficus indica) para remoción de turbidez”*** constituye la memoria que presenta los **estudiantes Nelson Rony Tito Tenorio y Miriam Carlos Lopinta** para aspirar al grado de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 20 días de agosto del año 2020.



---

Ing. Orlando Alan Poma Porras

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a .....30..... día(s) del mes de.....julio.....del año ..2020.. siendo las....15:10....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a): .....Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga.....,el(la) secretario(a): .....Mg. David Andres Sumire Quenta..... y los demás miembros: .....Ing. Josue Isac Carrillo Espinoza, Mg. Javier Raúl Condor Huamán..... y el(la) asesor(a) .....Ing. Orlando Alan Poma Porras..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: .....Comparación del rendimiento del coagulante basado en Soja deslipidificada y Cladodio de Tuna (*Opuntia ficus indica*) para remoción de turbidez.....

.....de los (las) egresados (as): a) Nelson Rony Tito Tenorio..... b) Miriam Carlos Lopinta..... conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en .....Ingeniería Ambiental.....  
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando.....a los..... candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por.....los..... candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Nelson Rony Tito Tenorio.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato/a (b): Miriam Carlos Lopinta.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literar	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó.....a los.....candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente/a

  
\_\_\_\_\_  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Asesor/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Miembro

  
\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)

  
\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

# **“Comparación del rendimiento del coagulante basado en soja deslipidificada y cladodio de tuna (*opuntia ficus indica*) para remoción de turbidez”**

## **COMPARE THE PERFORMANCE OF THE COAGULANT BASED ON SLIPPY SOYA AND CLADODIUM FROM TUNA (OPUNTIA FICUS INDICA) FOR REMOVAL OF TURBIDITY**

Nelson Rony Tito Tenorio<sup>a</sup>, Miriam Carlos Lopinta<sup>b</sup>

### **Resumen**

En el consumo de agua potable usan coagulantes sintéticos costosos a base de sales minerales de hierro y aluminio, ocasionando efectos negativos al medio ambiente por producción de lodos residuales y a la salud porque una concentración mayor a 0.110 mg/l de aluminio es un factor de deterioro cognitivo y surgimiento de enfermedades como Alzheimer, cáncer y enfermedades óseas. Por esa razón el objetivo de esta revisión es comparar el rendimiento de coagulantes naturales basados en soja deslipidificada y cladodio de tuna (*opuntia ficus indica*) para remoción de turbidez de agua para consumo humano, como alternativas económicamente viable y sostenible. La metodología utilizada fue revisión descriptiva e indagación de artículos, para poder comparar el resultado de los análisis de los coagulantes naturales mencionados. Según revisión bibliográfica se concluyó que la soja deslipidificada presenta mayor remoción con una eficiencia 98.04% a diferencia del cladodio de tuna con 72 % de eficiencia.

Palabra clave: Soja deslipidificada, Cladodio de Tuna, Coagulación, Flocculación, calidad de agua

### **Abstract**

In the consumption of drinking water, they use expensive synthetic coagulants based on mineral salts of iron and aluminum, causing negative effects on the environment due to the production of residual sludge and on health because a concentration greater than 0.110 mg / l of aluminum is a deterioration factor. cognitive and the emergence of diseases such as Alzheimer's, cancer and bone diseases. For this reason, the objective of this review is to compare the performance of natural coagulants based on delipidified soybean and prickly pear cladode (*opuntia ficus indica*) for removing turbidity of water for human consumption, as economically viable and sustainable alternatives. The methodology used was descriptive review and research of articles, to be able to compare the results of the analyzes of the mentioned natural coagulants. According to a bibliographic review, it was concluded that delipidified soybean presents greater removal with an efficiency of 98.04%, unlike the prickly pear cladode with 72% efficiency. Keyword: delipidified soybean, Prickly pear clam, Coagulation, Flocculation, water quality

<sup>a</sup> Corresponding author.

E-mail address: nelsontito@upeu.edu.pe <sup>b</sup>

Corresponding author.

E-mail address: miriamcarlos@upeu.edu.pe

## 1. Introducción

Según la OMS (2015), 663 millones de personas no cuentan con algún tipo de tratamiento de agua, utilizando directamente las fuentes superficiales, pozos o manantiales para su consumo, en su mayoría zonas rurales, propensos a sufrir enfermedades gastrointestinales; esto representa el 58 % de la población mundial de países subdesarrollados, ya que solo el 42% ha obtenido acceso a fuentes mejoradas de agua potable ubicadas en su mayoría en zonas urbanas. Según Alwi (2013) en el proceso de potabilización de agua para consumo humano, en la fases coagulación-floculación se adicionan sustancias químicas para la desestabilización y aglutinamiento de las partículas en flóculos, que posteriormente sedimentarán (Kim et al, 2001), esto mediante la adición de coagulantes sintéticos a base de sales minerales de hierro y aluminio (Guzmán et al, 2013), siendo el más utilizado el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  por tener una remoción más eficiente que los demás coagulantes químicos (Tarón et al, 2017).

El uso de estos coagulantes genera grandes volúmenes de lodos que posteriormente son arrastrados durante la sedimentación (Buenaño et al, 2019), siendo compuestos por sustancias que permanecen en el agua, en forma residual, acumulándose en el medio ambiente; convirtiéndose en una preocupación ambiental ya que en alta concentración pueden ser tóxicas para el agua y suelo, (Cabrera et al, 2018). además, en su gran mayoría son de costos altos de adquisición, (Fakhruddin & Hossain, 2011). Investigación reciente menciona que el uso del sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  para el tratamiento de agua está relacionado con algunas enfermedades neurodegenerativas y neurotóxicas en seres vivos (Valeriano & Matos, 2019); ya que estos coagulantes son fácilmente asimilados por el ser humano, ocasionando efectos negativos a la salud (Meza et al, 2018). Además, Investigaciones médicas en Inglaterra menciona que el riesgo de contraer la enfermedad del Alzheimer es 1.5 veces mayor en lugares donde la concentración de aluminio en el agua está por encima de 0.110 mg/L (Choque et al., 2018); Adicional a ello, esta sustancia química deteriora las células epiteliales intestinales, responsables de proteger al intestino de sustancias dañinas, afectación hepática e incidencia en el deterioro cognitivo y enfermedades óseas (Djouina et al, 2016).

La aplicación de los coagulantes naturales es una iniciativa global para el desarrollo sostenible, ya que busca frenar el consumo de los recursos naturales y la deterioro ambiental (Yin, 2010). Por lo tanto, es deseable desarrollar tecnologías ambientalmente aceptables y económicamente viables para reemplazar los coagulantes sintéticos (Vargas et al, 2020). Los coagulantes naturales a base de plantas pueden ser cultivables localmente, asimismo son biodegradables, rentables y seguros para la salud humana (Ramírez & Jaramillo, 2014), tienen fotoquímicos capaces de clarificar y desinfectar el agua como lo hacen los coagulantes químicos. Los coagulantes naturales no cambian mucho la conductividad y el pH del agua analizada (Meza et al, 2018), por ello están siendo estudiados como alternativa viable para la remoción de la turbidez del agua, por sus ventajas en su uso (Ramírez & Jaramillo, 2014).

Considerado lo anterior, surge la necesidad de evaluar coagulantes naturales como alternativa de mejora de calidad de agua en zonas de poca población y escasos recursos. Por ello el objeto de esta revisión es comparar el rendimiento de los coagulantes naturales basado en soja deslipidificada y cladodio de tuna (*Opuntia ficus indica*) para remoción de turbidez de agua, apta para consumo humano; utilizando la metodología de revisión bibliográfica, se indaga artículos, para poder realizar la comparación mediante análisis y resultado de hallazgos principales encontrados referente a los coagulantes naturales mencionados.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Características Generales del Agua.

### 2.1.1. Características Físicas

Según Vargas & Romero (2006) el agua tiene características físicas (sólidos, turbidez, temperatura, olor y sabor y color), que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: *Características Físicas*

Físicos	Descripción
<b>Sólidos:</b>	Los sólidos están conformados por partículas disueltas en suspensión y filtrables; estas contienen sustancias orgánicas e inorgánicas en forma molecular (Cardona, 2012). La cantidad de estos sólidos son los que determinan el color del agua, ya que dentro están aglomerados los coloides (Morales, 2015). Asimismo, se clasifican en 3 tipos, según el tamaño de estas. (Vargas & Romero, 2006)  <b>Sólidos suspendidos:</b> Según Guzmán et al., (2013) (mayores a $10^{-6}$ m). Por lo general se encuentran presentes en el agua después de 10 min. de sedimentación (Melgar, 2019). <b>Sólidos coloidales:</b> Según Vera & Zambrano (2019), menciona que no pueden ser anulados por métodos mecánicos o físicos, exigiendo adicionar un alumbre en el proceso de coagulación y floculación. El rango de diámetro oscila ( $10^{-6}$ y $10^{-9}$ m.) (Vargas & Romero, 2006). <b>Sustancias disueltas</b> (menores de $10^{-9}$ m); provienen de cationes y aniones de elementos inorgánicos, los ácidos y alcoholes de elementos orgánicos (Guananga, 2013) y gases presentes (Rodríguez, 2009); ya que estas sustancias desafían a la gravedad evitando ser removidas por una sedimentación simple (Morales, 2015).
<b>Turbidez:</b>	La turbidez del agua es generada por la presencia de partículas coloidales en suspensión; de origen inorgánico tales como arcillas, barros y óxidos minerales, provenientes de la erosión de suelos, otros de naturaleza orgánica (bacterias, zooplancton, parásitos, algas, ácidos fúlvicos y coloides húmicos (Marcó et al, 2004). Se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) (Vargas, 2018).
<b>Temperatura:</b>	La diferencia de temperaturas afecta considerablemente en el proceso de la coagulación debido a que cambia la formación del Flóculo (Apella & Araujo, 2019). Cuando el cuerpo de agua se encuentre frío, la reacción es mucho más lenta de manera que el tiempo de formación del flóculo es mayor (Morales, 2015).
<b>Olor y Sabor:</b>	Existen varios motivos por los cuales se producen los olores y sabores en el agua como tenemos la presencia de Sulfato de magnesio, Hierro y magnesio, Materia orgánica en solución, Fenoles, Aceites, Productos de cloro, etc. (Morales, 2015).
<b>Color:</b>	El color del agua además de estar ligado a la turbiedad, se debe a la presencia de lignina, ácidos húmicos, taninos, ácidos fúlvicos y ácidos grasos (Telenchano & Arguello, 2017). Además según para la formación del color del agua intervienen algunas características como Temperatura, PH, tiempo de contacto con la materia vegetal y orgánica (Castro, 1987).

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.1.2. Características Químicas

Según Castro (1987). Para el tratamiento de agua para consumo humano se describen a continuación los parámetros principales como criterios de calidad.

Tabla 2: *Características químicas*

Químicos	Descripción
<b>pH</b>	Medida de la alcalinidad o acidez por medio de la medición de los iones de hidrogeno en el agua; Ph <7, Básico >7, netro Ph=7 (Vargas, 2018).
<b>Alcalinidad</b>	Controla el proceso del a coagulación cuando se da el tratamiento. Un elevado índice de alcalinidad puede provocar un sabor desagradable (Pérez & Torres, 2008).
<b>Dureza</b>	Es un agua que contiene un alto nivel de minerales ya que posee diferentes cantidades de compuestos de los cuales el más común es el magnesio y calcio, causantes de la dureza (Yanez & Quiroga, 2019).
<b>Conductividad</b>	Habilidad de una solución para conducir electricidad. Los iones son partículas cargadas de electricidad que conducen corriente eléctrica a través de las soluciones de agua. (Rodríguez, 2009)

Fuente: Elaboración propia

Además, MINSA (2010) establece los límites máximos permisibles DS N° 031-2010-SA. para consumo humano para los parámetros de calidad organolépticas. En Perú el encargado de controlar y verificar la asistencia de servicios de saneamiento es Sunass, complementando con las normas de OMS. (Chulluncuy, 2011).

En la tabla 3 se mencionan algunos parámetros tomadas para esta investigación, por ser un tratamiento primario, ya que para ser apta para consumo humana se tiene que analizar más parámetros tanto fisicoquímicos y microbiológicos para su uso final.

Tabla 3: *Límites máximos permisibles para consumo humano*

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Olor	----	aceptable
Sabor	-----	aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad (25°)	µmho/cm	1500

Elaboración: Chulluncuy (2011)

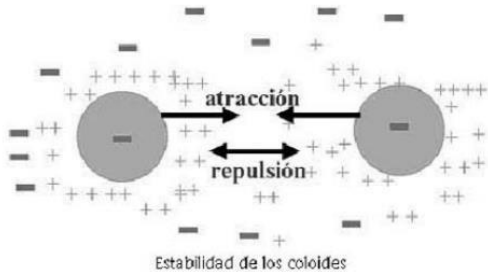
## 2.2. Mecanismos de Coagulación y Floculación

### 2.2.1. Coagulación

Yanez & Quiroga (2019) define coagulación como la adición de coagulantes sintéticos a base de sales minerales de hierro y aluminio (como el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl_3$ , sulfato de hierro  $FeSO_4$ , cloruro férrico  $FeCl_3$  y aluminio de sodio  $NaAlO_2$ ) esta adición produce desestabilización de partículas coloidal debido a interacciones eléctrica. Según Acosta (2006), menciona que

los coagulantes tienen una dosis óptima que varía en función a la concentración de coloides, temperatura y el PH; ya que el mal suministro de esta dosis podría encaminar a una degeneración de la calidad del agua. pierdan su estabilidad coloidal debido a interacciones eléctricas

Para obtener una alta eficiencia en este proceso, existe un tiempo de retención mínimo, perteneciente a un determinado gradiente de velocidad, si estas condiciones no se cumplen o no está dentro del valor, no se obtendrá la misma eficiencia Vera & Zambrano (2019). Por ello mismo existe un modelo de prueba de jarras para la determinación de la gradiente y la dosis óptima (Andía, 2000).

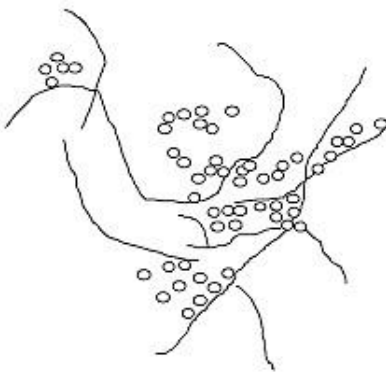


**Figura 1:** Representación de la inestabilidad de los coloides con la adición de un coagulante.

**Fuente:** (Andía, 2000).

### 2.2.2. Floculación

Proceso por el cual las partículas desestabilizadas chocan entre sí y se aglomeran formando los Flóculos. Los flóculos se agrupan creando conglomerados extensos lo cual son aptos para asentar (Veliz et al, 2016); esto permite disminuir el área superficial de la floculación. y el grado de hidratación; además de producir bajas concentraciones volumétricas, produce una alta eficiencia en el proceso de Sedimentación y Filtración (Trujillo et al., 2014).



**Figura 2:** Floculación: formación de flóculos de mayor tamaño

**Fuente:** (Andía, 2000).

Existen dos tipos de floculación; floculación Peri cinética o browniana que se da al comienzo del proceso y solo se ve en las partículas mayor a 1 micrón. (Chalco, 2016) y Floculación Ortocinética o gradiente de velocidad que se genera cuando interviene una fuerza externa, en este proceso las partículas en solución sobrepasan el tamaño de 1 micrón inducida por una energía que produce turbulencia. (Carpio & Vidalón, 2016).



## Principales coagulantes

Según su naturaleza pueden ser orgánicos e inorgánicos. (Bermúdez et al, 2009) entre ellos hallaremos los siguientes:

- **Coagulantes sintéticos**

Clasificados como sales de Aluminio, el más utilizado el sulfato de aluminio  $Al_2(SO_3)$  llamada como alumbre y también las sales de hierro: “cloruro férrico ( $FeCl_3$ ), sulfatos de hierro férrico y ferroso ( $Fe(SO_4)_3$  y ( $FeSO_4$ )” (Broncano & Rosario, 2017) y por último los polímeros o polielectrolitos donde la dosis de las sustancias son a concentración bajas, siendo una ventaja y compensando el costo del polímero (Broncano & Rosario, 2017), asimismo clasificada de acuerdo a su ionicidad: aniónicos, neutros o no iónicos y catiónicos. (Días, 2014).

- **Coagulantes Naturales:**

Los coagulantes orgánicos son obtenidos de sustancias vegetales o animales. Cuya estructura polimérica son los ácidos panarámicos y glucónicos. Entre ellos se encuentran ciertas plantas como las semillas de *Moringa Oleífera*, esta es muy eficaz al tratar el agua con alta concentración de turbidez, además al emplear un polielectrolito orgánico “ingrediente activo” lograría purificar el agua con baja turbiedad. Otros floculantes orgánicos son obtenidos de la yuca, maíz, papa y extractos de semillas de plantas (Bravo, 2017).

### 2.3. Principales Características de la soja deslipificada

La soja (*Glicine max*) se clasifica en la familia de las leguminosas, género *Glycine*, especie *Glycine max*” (Batista et al, 2018). Esta planta es una legumbre de ciclo anual, de porte erguido que logra crecer hasta 1.50 metros de altura. Tiene hojas trifoliadas y sus flores están ubicadas al inicio de las hojas, son pequeñas de un color blanco amarillento o también azul- violáceo asimismo estos florecen, acompañadas de vainas cortas en donde en el interior tienen entre uno y cinco granos oleaginosos de color negro, amarillo, castaño o verde (Guzman, 2018)



**Figura 3:** Soya (*Glicine max*)

**Fuente:** (Guzman, 2018)

La semilla de esta planta es considerada como una de las fuentes principales de proteína vegetal y aceite a nivel mundial. Los granos oleaginosos están compuestos en un 38 a 40 % de proteínas y de 18 y 20 % de grasa ya que se utiliza en la alimentación de diferentes especies, principalmente en la alimentación humana, ya que se considera dentro de los 10 cultivos con mayor importancia mundial con un total de 62 millones de hectáreas acumulando más de 136 millones de toneladas. La siembra de esta planta dependerá de las condiciones ambientales y el apoyo de ciertas tecnologías. (Pinilla Caicedo, 2017).

La semilla de esta planta está conformada de una cutícula, hipocotilo, y un embrión formado por dos cotiledones constituyéndose de células prolongadas llenas de “cuerpos proteicos” de forma esférica y numerosas esferosomas de aceite (González & Durán, 2014). El grano de las especies de la soja ha sido acondicionado en regiones tropicales o subtropicales, la composición total del grano estaría en promedio, 36.5 % de proteína, 30% de hidratos y 20% de lípidos, 8.5% de agua, 9% de fibra alimentario, y 5% de cenizas. Cabe recalcar que la concentración proteica de la planta de soja es la más predominante de todas las legumbres conocidas (Colina et al, 2017).

Componentes ( % )	Semilla de Soya
Materia seca	87.9
Proteína	38.0
Extracto etéreo	17.8
Fibra cruda	5.5
Cenizas	5.1
Lisina	1.90
Metionina	0.39
Triptofano	0.36
Calcio	0.27
Fósforo	0.49

**Figura 4:** Soya (*Glicine max*)

**Fuente:** (Guzman, 2018).

## 2.4. Principales características de la tuna (*opuntia ficus indica*)

Esta planta es originaria de México, sin embargo posee diferentes nombres de acuerdo a la geografía que se encuentra, entre las más comunes están: “Tuna en Latinoamérica (Perú, Chile, Argentina, Colombia, etc), Nopal o Nopalli en Mexico, Prickly pear, Cactus pear o Cactus fruti en Estados Unidos, además crece en Italia, España, Francia, Israel, Alemania y en Sudáfrica; asimismo científicamente denominado *Opuntia ficus-indica*, descendiente de la familia *Cactaceae*” (Mostacero, 2018).



**Figura 5:** Arquitectura de planta adulta de tuna mostrando las pencas y crecimiento de sus frutos.

**Fuente:** (Mostacero, 2018).

La tuna es una planta arborescente, rastrera, con forma simple o de matorrales que posee, su tronco leñoso bien definido, con ramificaciones esparcidas formando una copa, que pueden llegar a medir desde 3.5 hasta 5 m de alto. Sus ramas de clorofila conocida como pencas alcanzan los 30 a 60 centímetros y un ancho de 6.0 a 15.0 centímetros, estas son de color verde opaco y poseen pequeñas espinas blancas o amarillas, además tienen flores y su frutos son ovalados de color rojo, anaranjado o amarillo; conjuntamente tienen raíces extensas y ramificadas para capturar agua en entornos de lluvia escasa, como los áridos (Queiroz et al, 2016).

La tuna posee una gran capacidad para adecuarse a varias condiciones ambientales, por lo que su cultivo se puede realizar en diferentes entornos. Tiene varios tipos de utilidad, donde las partes de esta, como el tallo, las flores, la raíz y las frutas, son utilizados en la industria para diferentes fines (Mostacero, 2018). El fruto posee múltiples colores debido a la combinación de pigmentos llamados “betalaínas”, estas son de origen natural y están situadas en las vacuolas de la planta de orden *Caryophyllales*. Estos tienen una gran permanencia química; varios estudios han demostrado que su concentración antioxidante está ligada con la protección contra malestares degenerativas, ya que contiene acciones farmacológicas contra la aterotrombosis, aterosclerosis, accidente cerebrovascular, isquemia, etc. (Queiroz et al, 2016).

Esta planta de género *Opuntia ficus* es conocida por su composición química de “un 60 a 95 % de agua, 1.55 % de proteínas, 0.16 % de lípidos, 3.12 % de pectinas, y su característica gomosa es debido a la presencia de galactosa y triterpenos glucósidos” (Contreras et al, 2015). Estudios han establecido que este complejo viscoso está compuesto por arabinosa y glucosa principalmente, en cuanto a azúcares descubiertos está la galactosa, glucosa y arabinosa. Además de ello la composición de esta planta permite obtener sustancias poliméricas con estructuras muy ramificadas ya que contiene carbohidratos tales como Dgalactosa, L-arabinosa, D-xilosa, L-ramnosa, y ácido galacturónico; los cuales permiten formar redes moleculares con alta capacidad de crear geles gracias a su alto concentración de agua y estructura molecular (Loyo, 2018)

### 3. Resultado de análisis de estudios realizados

Los resultados de análisis se seleccionaron a través de una revisión bibliográfica, donde se buscó artículos relacionados a coagulantes naturales vegetales; de los cuales, los parámetros analizados en estas investigaciones fueron; remoción de turbidez y pH, de acuerdo a la cantidad de coagulante.

Tabla 4: *comparación de estudios de soja deslipidificada de diferentes autores*

Autores	Títulos	Fuente Vegetal	Turbi dez inicial	Dosis Optim a	Condiciones Operacionales			Turbidez final (NTU)	Eficiencia de remoción %
					pH	rpm	Tiempo de Contacto (horas)		
(Guerra & Pinilla, 2016)	Comparación de eficienciale remoción en tratamiento de agua potable del extracto acuoso salino de las semillas de soja y chachafruto, le frente al extrac acuoso salino de la o semilla moringa oleífera. le	Extracto Acuoso Salino de las Semillas de Soja	775.9	2 ml/L	8	300	-	3.75	99.54 %
(Rios et al, 2020)	Uso del coagulante natural PGα21CA en el tratamiento del agua potable. humano.	Coagulante orgánico de soja que es PGα21Ca (Poliglu).	26	0.20 gr	7.07-6.27	130	30-15-15	2.2	91.5%
(Pinilla, 2017)	Evaluar la mayor eficiencia de remoción de turbidez en el proceso de clarificación de agua del coagulante de la semilla de soja molida, torta de soja y la soja deslipidificada en comparación al sulfato de aluminio.	extracto acuoso de soja molida	503.1	5 ml/600 ml	5.05	200-40	1-15-30	246.4	51.02%
		extracto acuoso de torta de soja	503.1	2ml/60 0ml	5.05	200-40	1-15-30	231.6	46,05%

		extracto acuoso de soja deslipidifica da	262.3	2ml/60 0ml	5.05	200-40	1-15-30	5.14	98.04%
		extracto acuoso con adición (Cloruro de sodio 0.5 M-250 ml) y de soja molida	503.1	2 ml/600 ml	5.05	200-40	1-15-30	5.79	98.95%
		extracto acuoso con adición (Cloruro de sodio 0.5 M-250 ml) y de torta de soja	503.1	5ml/60 0ml	5.05	200-40	1-15-30	198.9	60.47%
		extracto acuoso con adición (Cloruro de sodio 0.5 M-250 ml) y de soja deslipidifica da	495.3	2ml/60 0ml	5.21	200-40	1-15-30	6.9	98.59%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Comparación de estudios del coagulante natural *Cladodio de Tuna (Opuntia ficus Indica)* de diferentes autores

Autores	Títulos	Fuente Vegetal	Turbidez inicial	Dosis Optima	Condiciones Operacionales				Turbidez final (NTU)	Eficiencia de remoción %
					Color	pH	rpm	Tiempo de contacto (min)		
(Ramos et al, 2017)	Evaluar la mezcla de coagulantes naturales, Moringa oleífera y Opuntia ficus en el proceso de clarificación de aguas	Opuntia Ficus – Alumbre (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> )	345	40 ppm	----	7	300	30 -15	5.42	98%
		Semilla de la moringa oleífera y Alumbre	464	45 ppm	-----	8	300	30-15	1.7	99.5%
		Alumbre	464	40 ppm	-----	8	300	30-15	1.02	99.7%
		Opuntia ficus, Moringa oleífera	489	35 mg/L	-----	8	300	30-15	29.3	94%
(Contreras et al, 2015)	Uso del coagulante natural-Nopal (Opuntia ficus-indica) como apoyo en la clarificación del agua.	Opuntia Ficus –Alumbre (10-90%)	97.67	40 mg/L	100%	6	200	1m - 20min-30min	1.78	98%
		Opuntia Ficus –Alumbre (20-80%)	97.67	35mg/L	-----	6	200	1m - 20min-30min	1.99	97.96%
(Olivero & Montes, 2019)	Uso del mucílago del nopal Opuntia Ficus-indica, en la remoción de turbidez del río Magdalena.	Opuntia ficus – Alumbre	276	40 mg/L	-----	6.9	100	1min-1hora	18.63	93.25 %
(Villabona et al, 2013)	Caracterizar el uso del coagulante natural opuntia ficus indica	Opuntia ficus indica	171	90	54%	7.8	30	Norma ASTM D2035	46	72 %

Fuente: Elaboración propia

#### **4. Discusión**

En la tabla 4 y 5 se procedió a realizar una revisión de la literatura, el cual contiene información de los diferentes estudios en donde se utilizó el coagulante natural de Soja deslipidificada y cladodio de tuna (*Opuntia ficus indica*) con dosis de concentración al 100 % natural y dosis modificados con la adición de un alumbre para remoción de turbidez; estos trabajos fueron aplicados específicamente en aguas para consumo humano, conociendo bajo qué condiciones operacionales los coagulantes mencionados tienen una mayor eficiencia.

Con respecto al comportamiento de soja sin la adición de un alumbre podemos afirmar que se detectaron diferencias altamente significativas; ya que Según (Pinilla Caicedo, 2017) en su investigación donde evalúa mayor eficiencia del coagulante semilla de soja molida, soja deslipidificada y la torta de soja, frente al sulfato de aluminio en la clarificación de aguas donde muestra que el que tuvo mejor resultado de eficiencia de remoción de turbidez fue la soja deslipidificada con un 98.04 % de eficiencia, con una turbidez inicial de 262.3 NTU, a un PH de 5, dosis de 2ml, obtenido una turbiedad final de 5.15 UNT. Con relación al comportamiento de soja mediante la adición de coagulante sintético; de igual forma (Guerra & Pinilla, 2016) en su investigación de comparación del extracto acuoso salino de las semillas de soja y de chachafruto, frente al extracto acuoso salino de la semilla de moringa oleífera, menciona que el Extracto Acuoso Salino de las Semillas de Soja con la adición de Cloruro de Sodio, tuvo resultados de eficiencia de remoción de turbidez de 99.54 % de eficiencia, con una turbidez inicial de 775.9 NTU, a un PH de 8, dosis de 2ml/L, obtenido una turbiedad final de 3.75 UNT.

En cuanto al comportamiento al coagulante natural *Opuntia Ficus*, después de haber realizado la revisión bibliográfica como se muestra en la Tabla 5. Podemos afirmar que se detectaron diferencias significativas entre los artículos evaluados. Por ejemplo en el primero estudio (Ramos et al., 2017) se hizo una comparación de *Opuntia Ficus* y semillas de moringa acompañado de Sulfato de Aluminio, donde los resultados mostrados muestran mayor eficiencia en combinación con alumbre, donde un 99% de turbidez en el agua se puede remover, a comparación del coagulante natural mezclando Moringa oleífera y *Opuntia ficus* remueve una turbidez mayor a 90%. Además otro estudio (Contreras et al., 2015) muestra que a un 20% de mucilago de nopal a una agitación de 200 rpm, su remoción de turbidez esta entre el 96-98%, asimismo el coagulante natural no afecta notablemente el PH del agua. Así también (Villabona et al., 2013) muestra que a una turbiedad de 171 NTU sin ningún acompañante muestra una remoción de un 72% y una turbidez final de 46 NTU, no está dentro del parámetro establecido, pero muestra una gran remoción, los factores que pueden influir en tratamiento son el modo de obtención y aplicación del coagulante natural, en el caso del último autor se aplicó el coagulante natural en forma de polvo.

#### **5. Conclusiones**

A través de la revisión bibliográfica mostrada de la comparación del rendimiento de los coagulantes naturales presentados, tuvo mayor eficiencia de remoción de turbidez con la adición del Cloruro de sodio al extracto de semilla Soja en un 99.54 % a diferencia de la adición de sulfato de aluminio al cladodio de tuna (*Opuntia ficus indica*) con una eficiencia de 98% de remoción. Es importante mencionar que los dos coagulantes tuvieron eficiencia de remoción significativas bajo diferentes controles operacionales (físicas y químicas); permitiendo aproximarse sustancialmente al límite permisible para el parámetro de Turbiedad según el DS 031-2010-SA para consumo humano, ya que esta alternativa es viable para el tratamiento primario del proceso de la clarificación agua.

#### **6. Recomendaciones**

Se recomienda investigar más fuentes bibliográficas enfocadas en realizar investigación de reaprovechamiento de naturaleza vegetal y sean eco amigables con el medio ambiente e inofensivas para la salud humana en la utilización de remoción de turbidez, para ser parte de investigaciones científicas.

## 7. Referencias

- Acosta, Yaniris, L. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA : Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 40(2), 10–17.
- Alwi, H., Idris, J., Musa, M., & Ku Hamid, K. H. (2013). A preliminary study of banana stem juice as a plant-based coagulant for treatment of spent coolant wastewater. *Journal of Chemistry*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/165057>
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. In *Sedapal*. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.08.016>
- Apella, M., & Araujo, P. (2019). Microbiología de agua. *Dignos de Su Arte*, 13–30. <https://doi.org/10.31819/9783954871568-002>
- Batista, E., Vázquez, Y., & Celeiro, F. (2018). Características fenológicas y productivas de cinco cultivares de soya en época lluviosa. *Centro Agrícola*, 45(2), 34–39.
- Bermúdez, Cabrera, X., Ramirez, Fleites, M., & Moya, Contreras, Ana, M. (2009). *estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil " desembarco del granma " a escala de laboratorio*.
- Bravo, M. A. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, Colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Universidad distrital Francisco José de Caldas.
- Broncano, L., & Rosario, N. (2017). *Eficiencia del (Tropaelum Tuberosum) y la cáscara de (Solanum Tuberosum) como coagulante para la remoción de turbiedad, color y solidos disueltos en el río Llullán, provincia de Caraz, Ancash-2016*.
- Buenaño, B., Vera, E., Aldas, M., & B. (2019). *Study of coagulating / flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment*. 2019, 24–35. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v39n1.69703>
- Cabrera, N. C., Del, E., Simancas, P., Rafael, A., & Julio, H. (2018). *Ensayo de coagulantes naturales extraídos de Ipomoea incarnata y Moringa oleífera en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias*. 16(2).
- Cardona, A. (2012). *Caracterización fisicoquímico y origen de los sólidos disueltos en el agua subterránea del valle de san luis potosi; su relación con el sistema de flujo* (Vol. 66).
- Carpio, N., & Vidalón, S. (2016). *Evaluacion Tecnológica Para La Inhibición De La Acción Corrosiva En El Agua Potable Utilizando Parámetros De Control Y Seguridad* (Vol. 1).
- Castro de Esparza, M. L. (1987). Parámetros Físico-Químico que influye en la Calidad y en el Tratamiento del Agua. *Cepis*, pp. 1–73.
- Castro, M. (1987). Parámetros Físico-Químico que influye en la Calidad y en el Tratamiento del Agua. In *Cepis*.
- Chalco, M. (2016). Determinación de la eficiencia del almidón de papa (solanum tuberosum) como auxiliar de coagulación del sulfato de aluminio en la remoción de turbidez del agua del río Caplina (Vol. 66).
- Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A., & Ramos-Pacheco, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298–309. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2018.2>
- Chulluncuy, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, 0(029), 153. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>
- Colina, J., León, M., Castañeda, M., & Matos, A. (2017). Composición química e indicadores de calidad del frijol de soya (Glycine max) integral procesado con vapor para la alimentación de aves y cerdos. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 67(1), 49–55.
- Contreras, P., Aguas, Y., Salcedo, G., Olivero, R., & Mendoza, G. (2015). El Nopal (Opuntia ficusindica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Celulosa Y Papel*, 23(1), 22–24.
- Días, J. (2014). Coagulantes-Floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y de reciclaje de la chatarra, para el tratatimiento de aguas contaminadas. (Vol. 3). <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.01.043>



- Djouina, M., Esquerre, N., Desreumaux, P., Vignal, C., & Body-Malapel, M. (2016). Toxicological consequences of experimental exposure to aluminum in human intestinal epithelial cells. *Food and Chemical Toxicology*, 91, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.03.008>
- Fakhrudin, A. N. M., & Hossain, A. (2011). *Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants*. 2011. <https://doi.org/10.5402/2011/632189>
- González Cañete, N., & Durán Agüero, S. (2014). Isoflavonas de soya y evidencias sobre la protección cardiovascular. *Nutricion Hospitalaria*, 29(6), 1271–1282. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.29.6.7047>
- Guananga Pujos, A. C. (2013). Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del canton Cevallos.
- Guerra Rodríguez, J., & Pinilla Holguín, A. (2016). Comparación Del Grado De Efectividad Como Coagulante En Tratamiento De Aguas Potables Del Extracto Acuoso Y El Extracto Acuoso Salino De La Semilla De Moringa Oleífera, Frente a los Extractos Acuoso y Extracto Acuoso Salino de las Semillas de Soja y de Ch. Retrieved from <https://sie.car.gov.co/handle/11349/6244?show=full>
- Guzman, E. (2018). *Obtención de una bebida proteica a base de soya (Glycine max) y naranjilla (Solanum quitoense)*.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). *reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales : una revisión*. 253–262.
- Guzman Tituaña, E. D. (2018). *Obtención de una bebida proteica a base de soya (Glycine max) y naranjilla (Solanum quitoense)*. 95. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19333/1/CD-8705.pdf>
- Kim, S. hyun, Moon, B. hyun, & Lee, H. in. (2001). *Effects of pH and dosage on pollutant removal and floc structure during coagulation*. 197–203.
- Loyo Godoy, M. D. C. (2018). *evaluación de los efectos del uso del mucílago de nopal opuntia ficus-indica y la temperatura en la clarificación de jugo de caña sobre el color de la panela*. universidad técnica del norte.
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & Garcia, M. (2004). Turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de. *Revista de Higiene Y*, 82, 72–82.
- Melgar Buedia, J. P. (2019). *remoción de solidos suspendidos y sulfuros en el efluente de pelambre de la industria curtiembre convencional mediante el compuesto comercial a base de zeolita (neonite)*. universidad nacional tecnológica de lima sur.
- Meza, M., Riaños Donado, K., Mercado Martínez, I., Olivero Verbel, R., Jurado Eraso, M., & Ario. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95–104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009> MINSA.
- (2010). *Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano*.
- Morales, J. (2015). *optimización dela planta de tratamiento de aguas residuales para la empresa cactomer i.n ubicada en la parroquia bolívar del cantón pelileo*.
- Mostacero, B. (2018). Evaluación de madurez y características fisicoquímicas y sensoriales en poscosecha de tuna(opuntia ficus-indica) variedad amarilla almacenada en refrigeración.
- Olivero, R., Mercado, I., & Montes, L. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 131–138. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019012>
- OMS. (2015). Organización Mundial de Salud. In *Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM*.
- Pérez, A., & Torres, P. (2008). Indices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables. *Ingeniería y Competitividad*, 10(2), 41–52.
- Pinilla Caicedo, J. V. (2017). *Evaluación de la eficiencia como coagulante de la semilla de soja molida, soja deslipidificada y la torta de soja, frente al sulfato de aluminio en procesos de clarificación de aguas*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas Facultad.
- Queiroz Mendes, F., Goreti De Almeida Oliveira, M., Maria Brunoro Costa, N., Vieira Pires, C., & Regina Passos, F. (2016). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. 66.

- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2014). Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 139–151. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.813>
- Ramos, J. D., Florez, A., Vega, L., & Villegas, G. (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* en clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 12(1), 63–71. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n1a6>
- Rios Medeiros, I., Zanotta de Souza, L., Mazo Bueno, L., & Sartori Jabur, A. (2020). Utilização do coagulante natural PGA21CA no tratamento de água para consumo humano. *Brazilian Applied Science Review*, 4(3), 1544–1549. <https://doi.org/10.34115/basrv4n3-064>
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125–134.
- Tarón-Dunoyer, A. A., Guzmán-Carrillo, L. E., & Barros-Portnoy, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, 21(1), 73. <https://doi.org/10.22579/20112629.396>
- Telenchano, F. R., & Arguello, P. (2017). *evaluación de residuos vegetales de papa, yuca, camote y plátano, como coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea*.
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación / floculación usando almidón de plátano. Turbidity removal in a water sample from a natural source via coagulation / flocculation using plantain starch. Remoção de turbidez em água de. *Revista ION*, 27(1), 17–34.
- Valeriano Mamani, J. J., & Matos Chamorro, R. A. (2019). Influence of Tara (*Caesalpinia spinosa*) Gum as an Aid in the Coagulation-Flocculation Process to Remove the Turbidity of an Artificial Suspension of Bentonite. *Informacion Tecnologica*, 30(5), 299–308. <https://doi.org/10.4067/S071807642019000500299>
- Vargas Camareno, M., & Romero Esquivel, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 19(4), 37–41.
- Vargas, J. (2018). *Evaluación de la eficiencia de la tuna (Opuntia Ficus Indica) como coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales*.
- Vargas Moncada, D. K., Barreto Pardo, S., Ruiz Matínez, L., & Gómez Ayala, S. L. (2020). *Evaluation of natural coagulants in water clarification*. 11(1), 105–116.
- Veliz, E., Guadalupe, J., Fernandez, L., & Mayra, B. (2016). Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(1), 17–34.
- Vera Bravo, K. E., & Zambrano Zambrano, M. M. (2019). *evaluación del polvo de moringa (m. oleífera) para remoción de sólidos suspendidos totales en agua residual del camal municipal de calceta*. escuela superior politécnica agropecuaria de manabí manuel félix lópez dirección.
- Villabona, Á., Paz, I., & Martinez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137–144.
- Yanez Naranjo, M. A., & Quiroga Santillan, M. (2019). *determinación de la capacidad coagulante del extracto obtenido de la semilla de tamarindus indica en el tratamiento de lixiviados*.
- Yin, C. yang. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437–1444. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>